



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 197 28 598 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 02 B 26/08
H 01 L 49/00

②1 Aktenzeichen: 197 28 598.8
②2 Anmeldetag: 4. 7. 97
④3 Offenlegungstag: 4. 2. 99

DE 197 28 598 A 1

⑦1 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

⑦4 Vertreter:
Gleiss & Große, Patentanwaltskanzlei, 70469
Stuttgart

⑦2 Erfinder:
Funk, Karsten, 70195 Stuttgart, DE; Laermer, Franz,
Dr., 70437 Stuttgart, DE; Heyers, Klaus, Dr., 72766
Reutlingen, DE; Elsner, Bernhard, 70806
Kornwestheim, DE; Frey, Wilhelm, Dr., 70469
Stuttgart, DE

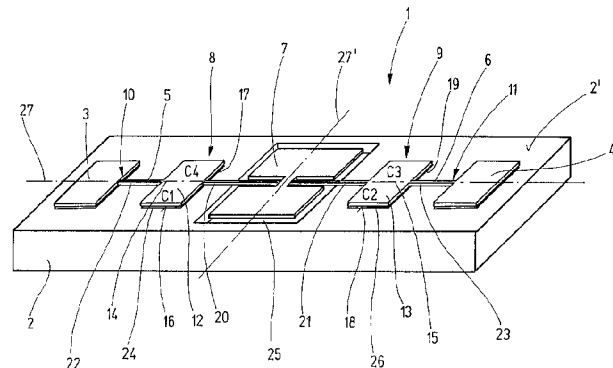
⑤5 Entgegenhaltungen:
DE 1 95 47 584 A1
DE 41 00 358 A1
US 52 45 463
EP 06 92 729 A1
EP 00 40 302 A2
Elektronik 2/1996, S. 56-70;
Thin Solid Films 255 (1995), 1. Jan. 1995,
S. 52-58;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Mikromechanische Spiegeleinrichtung

⑤7 Die Erfindung betrifft eine mikromechanische Spiegel-
einrichtung (1) mit einem als Grundkörper dienenden Sub-
strat (2), mit zumindest einer ortsfest auf dem Sub-
strat (2) angeordneten Kontaktierungselektrode (3; 4), mit
zumindest einem länglichen Federelement (5; 6), dessen
eines Längsende mit der Kontaktierungselektrode (3; 4)
verbunden ist, mit einem Spiegelelement (7), das über
das Federelement (5; 6) schwenkbar gehalten ist, und mit
zumindest einem Aktorelement (8; 9) zum Antrieb des
Spiegelements (7), die sich dadurch auszeichnen, daß
das Aktorelement (7; 8) dem Federelement (5; 6) zugeord-
net ist.



DE 197 28 598 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine mikromechanische Spiegeleinrichtung mit einem als Grundkörper dienenden Substrat, mit zumindest einer ortsfest auf dem Substrat angeordneten Kontaktierungselektrode, mit zumindest einem länglichen Feder-
element, dessen eines Längsende mit der Kontaktierungselektrode verbunden ist, mit einem Spiegelement, das über das Feder-
element schwenkbar gehalten ist und mit zumindest einem Aktorelement zum Antrieb des Spiegelements.

Stand der Technik

Derartige mikromechanische Spiegeleinrichtungen sind bekannt. Sie weisen ein Spiegelement auf, das über ein Feder-
element, insbesondere einen Torsionsstab, auf einem Substrat schwenkbar gehalten ist. Unterhalb des Spiegelements ist in das Substrat eine Ausnehmung eingebracht, so daß das Spiegelement eine Schwingung ausführen kann. Die Schwingung läßt sich mittels eines als elektrostatischer Antrieb wirkenden Aktorelements erreichen. Das Aktorelement umfaßt einen von außen mit einer Spannung beaufschlagbaren Kondensator, dessen eine Elektrode am Grund der Ausnehmung und dessen andere Elektrode von der Unterseite des Spiegelements gebildet wird. Derartige Schwingenspiegel werden beispielsweise als Lichtmodulatoren für Displays und in der integrierten Optik als optisches Relais eingesetzt. Ferner dienen sie als Element zum Ab-scannen eines Bereichs in einem Innenraum eines Gebäudes oder eines Kraftfahrzeugs.

Da bei einem durch zwei Kondensatorelektroden gebildeten elektrostatischen Antrieb die Antriebskraft einerseits von den Elektrodenplattenoberflächen und andererseits von deren Abstand zueinander abhängt, muß bei den bekannten mikromechanischen Spiegeleinrichtungen ein Kompromiß zwischen gewünschter Auslenkung des Spiegelements und maximal möglicher Kondensatorspannung getroffen werden. Das heißt, durch große Abstände der Platten sind zwar große Auslenkungen erreichbar, allerdings kann die notwendige Antriebskraft für das Spiegelement nur mit vergleichsweise sehr hohen elektrischen Spannungen erreicht werden. Dies kann bei mikromechanischen Strukturen, insbesondere Spiegeleinrichtungen, zu elektrischen Isolationsproblemen führen. Kommen jedoch niedrige Antriebsspannungen zum Einsatz, muß der Abstand zwischen den Kondensatorelektroden, also der Spiegelunterseite und der in der Ausnehmung eingebrachten Elektrode, geringer gewählt werden, so daß die notwendige elektrostatische Antriebskraft erreicht wird. Bedingt durch den geringen Abstand zwischen den Kondensatorelektroden ergibt sich jedoch nur ein geringer Auslenkungsbereich des Spiegelements.

Vorteile der Erfindung

Die mikromechanische Spiegeleinrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 hat den Vorteil, daß durch eine räumliche Trennung von Aktorelement und Spiegeleinrichtung ein mikromechanischer Spiegel geschaffen wird, der sich durch einen großen Auslenkungsbereich des Spiegelements bei geringer Energieversorgung des Aktorelements auszeichnet. Die räumliche Trennung von Spiegelement und Aktorelement ermöglicht insbesondere eine Entkopplung der Parameterwahl, so daß sich beide Elemente optimal konfigurieren lassen. Der Antrieb des Spiegelements ändert sich dagegen nur insofern, als daß das notwendige Drehmoment indirekt über einen Abschnitt des Feder-

ments auf das Spiegelement übertragen wird. Desweiteren führt diese Kopplung über das Feder-
element zu einem schwingfähigen System, bestehend aus Spiegelement, Feder-
element und Aktorelement, was bei Nutzung der Resonanzfrequenz eine Vergrößerung des Auslenkwinkels ermöglicht. Es ist also quasi eine Übersetzung vorhanden, die sich je nach Aufteilung der Bereiche des Feder-
elements zwischen Spiegel und Aktor und zwischen Aktor und Kontakt-
elektrode variieren läßt. Es ist also möglich, das Feder-
element in Bereiche derart aufzuteilen, daß der Bereich des Feder-
elements zwischen Aktorelement und Spiegelement aufgrund der angeregten Resonanzschwingung stärker tordiert wird als der Bereich des Feder-
elements zwischen Kontaktierungselektrode und Aktorelement.

Ferner kann eine Einstellung des Auslenkungsbereichs des Spiegelements durch Variation des Querschnitts des Feder-
elements erreicht werden. Das heißt, ein im Querschnitt "dickes" Feder-
element erzeugt bei der Torsions-
schwingung einen größeren Widerstand als ein im Querschnitt dünnes Feder-
element. Es ist also erkennbar, daß eine Beeinflussung der schwingenden Gesamtanordnung durch geeignete Auswahl beziehungsweise Ausgestaltung des Feder-
elements bewirkt werden kann.

Mittels des Steifigkeitsverhältnisses des Feder-
elements, einerseits durch Veränderung des Querschnitts des Feder-
elements und andererseits durch Variation der Länge der beiden Bereiche des Feder-
elements, kann also die Amplituden-
überhöhung im Resonanzfall beeinflußt werden.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, daß auf dem Substrat eine weitere Kontaktierungselektrode angebracht ist. Mit der Kontaktierungselektrode ist ein weiteres Feder-
element mit seinem einen Längsende verbunden, wobei sein anderes Längsende mit dem Spiegelement verbunden ist. Vorzugsweise ist auch diesem Feder-
element ein Aktorelement zugeordnet. Mit dieser Ausgestaltung wird erreicht, daß die Antriebskräfte für das Spiegelement erhöht werden können, wodurch ein noch größerer Auslenkwinkel des Spiegelements erzielbar ist. Andererseits ist es jedoch auch möglich, die Aktorelemente jeweils mit einer Energie zu versorgen, die betragsmäßig geringer ist als bei einem Antrieb mit nur einem Antrieb. Das bedeutet, daß eine geringere Antriebsenergie für ein Aktorelement notwendig wird. Ferner bewirkt eine Lagerung des Spiegelements an zwei Feder-
elementen eine präzise Schwingungsauslenkung, so daß Auslenkungen in unerwünschten Richtungen vermieden werden.

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß das Feder-
element als länglicher Federstab ausgebildet ist, der durch das Aktorelement tordiert werden kann. Vorzugsweise liegen die beiden Federstäbe auf einer gemeinsamen gedachten Linie; das heißt, daß die Federstäbe fluchten.

In besonders bevorzugter Ausführungsform ist vorgesehen, daß das Aktorelement eine beabstandete Elektrode und eine gegenüberliegende auf dem Substrat vorgesehene Gegenelektrode umfaßt. Dadurch wird ein elektrischer Antrieb für das Spiegelement realisiert, der bei einer großen Auslenkung des Spiegelements durch – die vorstehend erwähnte Übersetzung – eine geringe Antriebsspannung benötigt. Dadurch wird einerseits eine unerwünscht hohe Wärmeentwicklung vermieden, andererseits ergeben sich durch geringere elektrische Spannungen keine Isolationsprobleme bei geringen Abständen der Elektroden. Weiterhin ist es durch einen elektrischen Antrieb besonders einfach möglich, die schwingende Anordnung, bestehend aus Feder-
element, Elektrode des Aktorelements und Spiegelement, mit einer vorzugsweise Wechselspannung in eine Schwingung zu ver-

setzen, wobei der Kurvenverlauf je nach Anforderung gewählt werden kann. Selbstverständlich kann auch eine pulssierende Gleichspannung als Antriebsspannung vorgesehen sein.

Weiterhin bietet ein elektrischer Antrieb bei zwei Aktorelementen den Vorteil, daß eine Auslenkung des Spiegelements in einer zweiten Richtung möglich ist. Dies wird dann möglich, wenn die Aktorelemente gegenphasig, das heißt mit Antriebsspannungen betrieben werden, die zueinander phasenverschoben sind. Es ist also möglich, das Spiegelement in eine Schwingung um die Längsachse der Federelemente zu versetzen und eine weitere Schwingung, die vorzugsweise senkrecht zur ersten Schwingung verläuft, zu überlagern. Durch geeignete Auswahl der Antriebsspannungen, insbesondere durch eine Phasenverschiebung, wird es also möglich, das Spiegelement in zwei Dimensionen ausulenken, nämlich einerseits in eine Drehschwingung um eine Spiegellängsachse und andererseits in eine zweite Drehschwingung (Kippschwingung) um eine Spiegelquerachse. Trifft bei einer derartigen Auslenkung des Spiegels ein Lichtstrahl auf eine Spiegelfläche, so wird der Lichtstrahl entsprechend der Schwingfrequenz des Spiegels in zwei Dimensionen abgelenkt. Eine Projektion dieses Strahls auf einer Fläche ergibt eine Lissajous-Figur. Entsprechend dem Verhältnis der Frequenzen beider Schwingungen kann eine Abtastung einer Fläche oder eines Raumes erfolgen. Die Abtastung kann zudem noch wesentlich feiner aufgelöst werden, wenn die beiden Schwingungen zueinander phasenverschoben sind. Dadurch wird es möglich, einen Raum oder eine Fläche derart abzutasten, daß sich nahezu keine unabgetasteten Bereiche im Raum ergeben.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform ist vorgesehen, daß das Aktorelement zwei Gegenelektroden umfaßt, wobei die diesen beiden Gegenelektroden zugeordnete Elektrode spiegelsymmetrisch zum Federelement angeordnet ist. Dadurch wird es möglich, daß ein Antrieb des Spiegelements derart realisiert wird, so daß die Torsionschwingung beziehungsweise die Drehschwingung in beiden Drehrichtungen erzwungen wird. Das heißt, das Spiegelement wird in beiden Drehrichtungen ausgelenkt und zurückgestellt, so daß eine mechanische Rückstellkraft des Federelements überwunden beziehungsweise unterstützt wird. Dadurch läßt sich eine besonders gleichmäßige Drehschwingung des Spiegelements erzielen.

In einer Weiterbildung der Erfindung ist vorgesehen, daß das Substrat unterhalb des Spiegelements eine Ausnehmung aufweist, deren Grundfläche größer als die des Spiegelements und deren Tiefe entsprechend der gewünschten maximalen Auslenkung gewählt ist. Es ist also möglich, das Spiegelement in einer gewählten Höhe zum Substrat anzuordnen, wobei dennoch eine genügend große Auslenkung des Spiegelements gewährleistet ist.

In bevorzugter Ausführungsform ist vorgesehen, daß das Spiegelement zwei im wesentlichen rechteckförmig ausgebildete Spiegelflächen umfaßt, die spiegelsymmetrisch zu der Längsachse des Federelements an diesem angebracht sind. Dadurch wird es möglich, den Bereich des Federelements zwischen dem Aktorelement und dem Spiegelement zu verlängern, wodurch die maximale Auslenkung des Spiegelements bei Anregung mit Resonanzfrequenz erhöht werden kann, da dieser verlängerte Bereich des Federelements gegenüber einer kürzeren Ausführung wesentlich stärker tordiert werden kann.

Vorzugsweise kann die Oberfläche des Spiegelements verschiedenartig ausgebildet sein. Einerseits ist es möglich, das Spiegelement als reine Spiegeleinrichtung auszuführen, andererseits kann die Oberfläche derart beschaffen sein, daß eine Filterung des Lichts vorgenommen wird. Beispiels-

weise läßt sich zumindest eine Spektralfarbe des Lichtstrahls herausfiltern.

Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Spiegeleinrichtung, das sich dadurch auszeichnet, daß auf einem Substrat poröses Silizium erzeugt wird, und zwar unterhalb eines Bereichs, der in der mikromechanischen Spiegeleinrichtung unterhalb der beweglichen Teile, nämlich Spiegelement, Federelement und Aktorelement, liegt. Anschließend werden die Kontaktierungselektroden auf das Substrat aufgebracht. Auf die porösen Bereiche des Siliziums wird weiterhin eine epitaktische Schicht, vorzugsweise Silizium, aufgewachsen, wobei anschließendes selektives Entfernen des porösen Siliziums zum Herstellen der beweglichen Teile führt. Dadurch wird in vorteilhafter Weise erreicht, daß ein Spiegel realisiert werden kann, der aus mono- oder polykristallinem Silizium besteht. Dadurch kann insbesondere die Oberfläche des Spiegelements derart beeinflusst werden, daß keine Oberflächenwölbungen oder Rauigkeiten vorhanden sind, so daß ein Lichtstrahl mit hoher Effizienz exakt abgelenkt werden kann. Eine derartig erzeugte mikromechanische Spiegeleinrichtung findet insbesondere in abtastenden optischen Bauteilen, beispielsweise Barcode-Lesegeräten oder Raumüberwachungseinheiten, Anwendung.

Zeichnung

Die Erfindung wird anhand eines Ausführungsbeispiels mit Bezug auf die Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine mikromechanische Spiegeleinrichtung,

Fig. 2 die mikromechanische Spiegeleinrichtung gemäß **Fig. 1**, wobei das Spiegelement aus seiner Grundposition ausgelenkt ist und

Fig. 3 die mikromechanische Spiegeleinrichtung gemäß **Fig. 1**, wobei das Spiegelement aus seiner Grundposition ausgelenkt ist.

In **Fig. 1** ist eine mikromechanische Spiegeleinrichtung **1** gezeigt, die auf einem als Grundkörper dienenden Substrat **2**, insbesondere Silizium, ausgebildet ist. Die Spiegeleinrichtung **1** umfaßt Kontaktierungselektroden **3** und **4**, zwei Federelemente **5** und **6**, ein im wesentlichen rechteckförmig ausgebildete Spiegelflächen aufweisendes Spiegelement **7** sowie zwei Aktorelemente **8** und **9**.

Die Kontaktierungselektroden **3** und **4**, die Federelemente **5**, **6**, das Spiegelement **7** sowie die Aktorelemente **8**, **9** sind spiegelsymmetrisch zu einer Längsachse **27** (Spiegellängsachse) und zu einer zur Längsachse **27** rechtwinklig verlaufenden Achse **27'** (Spiegelquerachse). Beide Achsen liegen in einer gemeinsamen parallel zu einer Oberseite **2'** des Substrats **2** angeordneten Ebene.

Die Kontaktierungselektroden **3** und **4** sind ortsfest auf dem Substrat **2** angeordnet und bilden Befestigungspunkte **10**, **11** für die Federelemente **5** und **6**. Die Federelemente **5** und **6** sind mit einem ihrer Längsenden jeweils an den Befestigungspunkten **10**, **11** angebracht beziehungsweise einstückig mit den Kontaktierungselektroden **3** und **4** ausgebildet. Das Federelement **5** ist mit seinem einen Längsende am Bereich **12** des Aktorelements **8** angeordnet beziehungsweise einstückig mit diesem ausgebildet und trägt an seinem anderen Längsende das Spiegelement **7**. Mithin wird ein Federelementabschnitt **20** gebildet, der sich also zwischen dem Aktorelement **8** und dem Spiegelement **7** befindet.

Dem Aktorelement **9** beziehungsweise dessen Bereich **13** ist ein Federelementabschnitt **21** mit seinem einen Längsende zugeordnet beziehungsweise einstückig mit dem Bereich **13** ausgeführt. An seinem anderen Längsende trägt der

Federelementabschnitt **21** das Spiegelement **7**. Ohne weiteres ist ersichtlich, daß die Federelemente **5** und **6** jeweils durch die Federelementabschnitte **20** und **21** sowie durch Federelementabschnitte **22** und **23** gebildet werden, wobei die Federelementabschnitte **22** und **23** jeweils zwischen dem zugehörigen Aktorelement **8** beziehungsweise **9** und der zugeordneten Kontaktierungselektrode **3** beziehungsweise **4** ausgebildet sind. Vorzugsweise sind die Kontaktierungselektroden **3** und **4**, die Bereiche **12** und **13**, das Spiegelement **7** und die Federelemente **5** und **6** einstückig ausgebildet.

Den Federelementen **5** und **6** ist jeweils ein Aktorelement **8** beziehungsweise **9** zugeordnet, wobei flächige Bereiche **12**, **13** je eine Elektrode **14** und **15** bilden und vorzugsweise einstückig mit den zugehörigen Federelementen **5** beziehungsweise **6** ausgeführt sind. Unterhalb der Elektroden **14** und **15**, die vorzugsweise eine kleinere Fläche als das Spiegelement **7** aufweisen, sind je zwei Gegenelektroden **16**, **17** beziehungsweise **18** und **19** auf dem Substrat **2** ausgebildet. Die Gegenelektroden **16** bis **19** weisen jeweils Anschlußbeine (nicht dargestellt) auf, die auf dem Substrat **2** ausgebildet sind und einen elektrischen Anschluß ermöglichen. Die Elektroden **14** beziehungsweise **15** sind über ihre zugehörigen Kontaktierungselektroden **3** beziehungsweise **4** und über die zugehörigen Federelemente **5** und **6** elektrisch ansteuerbar. Mithin werden durch die Elektroden **14** und **15** sowie die Gegenelektroden **16** bis **19** kapazitive Strukturen, also Kondensatoren **C1**, **C2**, **C3** und **C4** gebildet, wobei die Kondensatoren **C1** und **C4** dem Aktorelement **8** und die Kondensatoren **C2** und **C3** dem Aktorelement **9** zugeordnet sind.

Das Substrat **2** weist Ausnehmungen **24**, **25** und **26** auf, wobei am Grund der Ausnehmung **24** die Gegenelektroden **16** und **17** angebracht sind. Entsprechendes gilt für die Ausnehmung **26**, das heißt, auf deren Boden sind die Gegenelektroden **18** und **19** angeordnet.

Die Ausnehmung **25** liegt – in Richtung der Längsachse **27** gesehen – zwischen den beiden Ausnehmungen **24** und **26** und ist dem Spiegelement **7** zugeordnet. Die Ausnehmung **25** weist eine Grundfläche auf, die größer als die Grundfläche des Spiegelements **7** ist, so daß das Spiegelement **7** in die Ausnehmung **25** schwenkbeweglich eintauchen kann. Die Tiefe der Ausnehmung ist von einem maximal gewünschten Auslenkwinkel abhängig, das heißt, je tiefer die Ausnehmung **25** in das Substrat **2** eingebracht ist, desto größer kann der Auslenkwinkel des Spiegelements **7** gewählt werden.

Es ist erkennbar, daß das Spiegelement **7** mit den vorzugsweise stabförmigen Federelementen **5** und **6** freibeweglich aufgehängt ist und bei einer Torsion der Federelemente, insbesondere der Federelementabschnitte **20** und **21**, sich um die Längsachse **27** drehen kann. Die Tiefe der Ausnehmung **25** ist dabei vorzugsweise so bemessen, daß das Spiegelement **7** beispielsweise um $\pm 30^\circ$ ausgelenkt werden kann, ohne dabei das Substrat **2**, also einen Boden der Ausnehmung **25**, zu berühren.

Damit das Spiegelement **7** in eine Drehbewegung versetzt werden kann, werden die Aktorelemente **8** und **9** jeweils mit einer elektrischen Spannung beaufschlagt, die zu einer Verkleinerung oder Vergrößerung des Abstands der Kondensatoren bildenden Elektroden führt. Da die auf die Elektrode **14** und **15** wirkende Kraft beabstandet zu der Längsachse **27** des Federelements **5** und **6** liegt, wird ein Drehmoment auf die Federelemente ausgeübt, welches die Drehbewegung des Spiegelements **7** herbeiführt. Darauf soll anhand von **Fig. 2** näher eingegangen werden.

Die **Fig. 2** zeigt die mikromechanische Spiegeleinrichtung **1**, wobei gleiche Teile – wie in **Fig. 1** dargestellt – mit

gleichen Bezugszeichen versehen sind. Auf eine nochmalige Beschreibung dieser Teile wird deshalb verzichtet.

Ohne weiteres ist in **Fig. 2** ersichtlich, daß das Spiegelement **7** um die Längsachse **27** gedreht ist. Um die Drehbewegung des Spiegelements **7** zu erreichen, werden die Kondensatoren **C3** und **C4** derart mit Spannung beaufschlagt, daß sich zwischen ihren Elektroden **14** beziehungsweise **15** und ihren Gegenelektroden **17** beziehungsweise **19** ein Anziehungseffekt einstellt. Dies kann dadurch erreicht werden, daß die elektrischen Ladungen auf der Elektrode **14** beziehungsweise **15** und den zugehörigen Gegenelektroden **17** und **19** gegenpolig sind.

Soll das Spiegelement in die andere Richtung gedreht werden, so werden die elektrischen Spannungen an den Kondensatoren **C1** und **C2** derart angelegt, daß bei diesen der Anziehungseffekt auftritt.

Es ist jedoch auch möglich, die jeweiligen elektrischen Spannungen impulsförmig anzulegen, so daß sich an den Kondensatoren **C1** und **C2** sowie **C3** und **C4** der Anziehungseffekt alternierend einstellt. Dadurch wird das Spiegelement abwechselnd in die eine und die andere Richtung um die Längsachse **27** gedreht, mithin führt das Spiegelement **7** eine Drehschwingungsbewegung aus. Weisen die elektrischen Spannungen eine Impulsfrequenz auf, die einer mechanischen Resonanzfrequenz der schwingenden Anordnung, bestehend aus Spiegelement **7**, Federelement **5** und **6** und den flächigen Bereichen **12** und **13**, entspricht, wird insbesondere das Spiegelement **7** in eine resonante Drehschwingung versetzt. Dadurch, daß der Antrieb im Bereich der mechanischen Resonanzfrequenz erfolgt, wird das Spiegelement **7** in seiner Drehschwingung derart ausgelenkt, daß zumindest die Federelementabschnitte **20** und **21** tordiert werden. Dadurch wird erreicht, daß zwar das Spiegelement **7** große Auslenkwinkel überstreichen kann, jedoch die Bereiche **12** und **13** der Aktorelemente **8** und **9** nicht sehr stark ausgelenkt werden.

Es ist also eine Art Übersetzung geschaffen, die durch Wahl des Längenverhältnisses zwischen den Federelementabschnitten **20** beziehungsweise **21** und **22** beziehungsweise **23** eingestellt werden kann. Das heißt, je länger die Federelementabschnitte **20** und **21** gegenüber den Federelementabschnitten **22** und **23** sind, umso größer ist der Auslenkwinkel des Spiegelements bei gleichbleibender Auslenkung der Aktorelemente, da die längeren Federelementabschnitte **20** und **21** stärker tordiert werden können. Es zeigt sich also, daß das Spiegelement **7** wesentlich stärker ausgelenkt werden kann als die Aktorelemente **8** und **9** selbst. Dadurch wird es möglich, daß ein auf einer Oberfläche **28** des Spiegelements auftreffender Lichtstrahl (nicht dargestellt) wesentlich stärker als bei den im Stand der Technik bekannten Spiegeleinrichtungen abgelenkt werden kann. Mithin ergibt sich beim Einsatz der mikromechanischen Spiegeleinrichtung **1**, beispielsweise als Abtastelement, ein großer Abtastbereich. Weiterhin wird durch die Übersetzung erreicht, daß die Abstände zwischen den einzelnen Elektroden der Kondensatoren **C1** bis **C4** klein gewählt werden können, so daß eine relativ geringe Antriebsspannung vorgesehen werden kann, wobei einerseits eine geringe Verlustleistung der Aktorelemente **8** und **9** auftritt und andererseits durch die niedrige Antriebsspannung keine Isolationsprobleme auftreten, das heißt, Spannungsüberschläge zwischen den einzelnen Elektroden der Kondensatoren **C1** bis **C4** werden vermieden.

Demnach kann die dem Aktorelement **8** beziehungsweise **9** zugeordnete Ausnehmung **24** beziehungsweise **26** vorzugsweise eine geringere Tiefe als die Ausnehmung **25** aufweisen. Die geringere Tiefe der Ausnehmungen **24**, **26** resultiert auch aus einer gegenüber dem Spiegelement **7** kür-

zere Erstreckung der Aktorelemente **8, 9** in Richtung der Achse **27'**. Daher ist der Auslenkwinkel von Randbereichen der Aktorelemente **8, 9** entsprechend klein.

Ferner ist es vorteilhaft, daß durch den großen Abstand zwischen Spiegelement **7** und dem Boden der Ausnehmung **26** eine relativ geringe Luftreibung bei der Drehbewegung vorhanden ist, so daß die mikromechanische Spiegeleinrichtung **1** bei Umgebungsluftdruck betrieben werden kann. Es muß also keine Luftevakuierung in einer Einhausung (nicht dargestellt) vorgenommen werden, in der die mikromechanische Spiegeleinrichtung **1** vorzugsweise untergebracht ist.

In **Fig. 3** ist die mikromechanische Spiegeleinrichtung **1** dargestellt, wobei gleiche Teile wie in den **Fig. 1** und **2** auch hier mit denselben Bezugszeichen versehen sind, so daß auf die zugehörige Beschreibung verwiesen werden kann.

Ohne weiteres ist in **Fig. 3** ersichtlich, daß das Spiegelement **7** einer weiteren Auslenkung unterworfen ist. Diese Auslenkung wird dadurch erreicht, daß die Kondensatoren **C1** und **C4** mit einer gleichphasigen Spannung beaufschlagt werden, die jedoch gegenüber der Spannung, welche die Kondensatoren **C2** und **C3** versorgt, gegenphasig ist. Somit kann ein von der Oberfläche **28** des Spiegelements **7** reflektierter Lichtstrahl in einer weiteren Richtung abgelenkt werden. Das Spiegelement **7** kann also eine Drehbewegung, insbesondere eine Kippbewegung, um die Achse **27'**, ausführen, dabei wirken die Federelemente **5** und **6** quasi als Biegebalken.

Selbstverständlich ist es auch möglich, die Aktorelemente **8** und **9** derart mit elektrischer Spannung zu beaufschlagen, daß sowohl die Drehbewegung gemäß **Fig. 2** als auch die Drehbewegung gemäß **Fig. 3** vom Spiegelement **7** gleichzeitig ausgeführt wird. Beispielsweise erfolgt die Ansteuerung derart, daß abwechselnd vorzugsweise mit hoher Frequenz die Aktorelemente **8** und **9** mit einer Spannung beaufschlagt werden, die die Drehbewegung um die Längsachse **27** hervorruft und gleichzeitig mit einer Spannung versorgt werden, die die Drehbewegung um die Achse **27'** bewirkt. Weisen diese Antriebsspannungen, ein ganzzahliges Frequenzverhältnis zueinander auf und stehen die dadurch hervorgerufenen Schwingungen des Spiegelements **7** senkrecht aufeinander, so projiziert ein von der Oberfläche **28** reflektierter Lichtstrahl eine sogenannte Lissajous-Figur. Die Projektionen des Lichtstrahls, also die Lissajous-Figur, kann noch dadurch verändert werden, daß die Schwingungen (Drehbewegung und Drehbewegung) eine Phasenverschiebung zueinander aufweisen. Dadurch lassen sich eine Vielzahl derartiger Lissajous-Figuren erzeugen, so daß ein abzutastender Bereich nahezu lückenlos abgescannt werden kann. Das bedeutet, entsprechend des Frequenzverhältnisses und der Phasenverschiebung der Schwingungen beziehungsweise Antriebsspannungen zueinander scannt ein derart abgelenkter Lichtstrahl beispielsweise einen Raum besonders intensiv ab, so daß in vorteilhafter Weise eine im wesentlichen lückenlose Überwachung des Raumes erzielt werden kann.

Selbstverständlich ist es auch möglich, die Aktorelemente **8** und **9** mit Antriebsspannungen zu versorgen, die eine geringe Frequenz aufweisen. Damit kann das Spiegelement **7** stationär ausgelenkt werden, das heißt, eine Ansteuerung ist derart möglich, daß das Spiegelement **7** in einer gewünschten Auslenkposition verharrt.

Weiterhin kann der mikromechanischen Spiegeleinrichtung **1** zumindest ein weiteres Elektrodenpaar (nicht dargestellt) zugeordnet sein, das vorzugsweise auch den Federelementen **5** und **6** zugeordnet ist. Eine an dieses Elektrodenpaar angelegte Spannung verändert ihren Wert bei der Auslenkung des Spiegelements **7**. Diese Spannung ist mit

Hilfe einer Auswerteeinrichtung detektierbar, so daß jederzeit der Auslenkwinkel des Spiegelements **7** bestimmt werden kann, mithin ist die Richtung des reflektierten Lichtstrahls bekannt.

Im folgenden wird vereinfacht ein Herstellungsablauf der mikromechanischen Spiegeleinrichtung **1** beschrieben: Zunächst wird auf dem Substrat **2**, das vorzugsweise aus Silizium besteht, an Stellen des Substrats **2** poröses Silizium erzeugt, und zwar an den Stellen, an denen in einem späteren Herstellungsschritt die beweglichen Teile, nämlich das Spiegelement **7**, die Federelemente **5** und **6** und die Aktorelemente **8** und **9**, aufgebracht werden. Anschließend werden die Kontaktierungselektroden **3** und **4**, vorzugsweise aus Polysilizium, auf eine aufgetragene, beispielsweise aus TEOS bestehende und als Opferschicht dienende Isolationsschicht aufgebracht. Anschließend kann auf dem porösen Silizium eine epitaktische Siliziumschicht an jenen Stellen aufgewachsen werden, an denen die beweglichen Teile liegen sollen. Ist das poröse Silizium vollständig oder teilweise oxidiert, wird die epitaktische Siliziumschicht als polykristalline Schicht ausgeführt, die dem Spiegel eine diffus reflektierende Oberfläche verleiht. Bei nicht oxidiertem porösem Silizium ist die Epitaxialschicht monokristallin, wodurch die Spiegeloberfläche plan ist und keine Lichtstreuungseffekte verursacht. Dadurch kann ein Lichtstrahl im wesentlichen streuungsfrei reflektiert werden. Die beweglichen Teile, insbesondere der Spiegel, können also je nach Anforderung aus poly- oder monokristallinem Silizium hergestellt werden. Ein anschließendes Entfernen der porösen Siliziumschichten unterhalb dieser epitaktischen Siliziumschicht läßt insbesondere die Ausnehmungen **24** bis **26** entstehen. Alternativ können auch Ätzverfahren zum selektiven Unterätzen des Spiegels und der anderen beweglichen Teile eingesetzt werden, beispielsweise kann das sogenannte KOH-Ätzen verwendet werden.

Patentansprüche

1. Mikromechanische Spiegeleinrichtung (**1**) mit einem als Grundkörper dienenden Substrat (**2**), mit zumindest einer ortsfest auf dem Substrat (**2**) angeordneten Kontaktierungselektrode (**3; 4**), mit zumindest einem länglichen Federelement (**5; 6**), dessen eines Längsende mit der Kontaktierungselektrode (**3; 4**) verbunden ist, mit einem Spiegelement (**7**), das über das Federelement (**5; 6**) schwenkbar gehalten ist, und mit zumindest einem Aktorelement (**8; 9**) zum Antrieb des Spiegelements (**7**), **dadurch gekennzeichnet**, daß das Aktorelement (**7; 8**) dem Federelement (**5; 6**) zugeordnet ist.
2. Mikromechanische Spiegeleinrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine weitere auf dem Substrat (**2**) angeordnete Kontaktierungselektrode (**3; 4**), ein weiteres Federelement (**5; 6**), dessen eines Längsende mit der weiteren Kontaktierungselektrode (**3; 4**) und dessen anderes Längsende mit dem Spiegelement (**7**) verbunden ist, und ein weiteres Aktorelement (**8; 9**), das dem Federelement (**5; 6**) zugeordnet ist.
3. Mikromechanische Spiegeleinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Federelement (**5, 6**) als länglicher Federstab ausgebildet ist.
4. Mikromechanische Spiegeleinrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Federstäbe auf einer gedachten Linie (Längsachse **27**) liegen.
5. Mikromechanische Spiegeleinrichtung nach einem

der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Aktorelement (8, 9) eine beabstandet zum Spiegelement (7) am Federelement (5, 6) angeordnete Elektrode (14; 15) und eine gegenüberliegende auf dem Substrat (2) vorgesehene Gegenelektrode (16, 17, 18, 19) umfaßt.

6. Mikromechanische Spiegeleinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Aktorelement (8, 9) zwei Gegenelektroden (16, 17, 18, 19) umfaßt, wobei die diesen beiden Gegenelektroden (16, 17, 18, 19) zugewandte Elektrode (14; 15) spiegelsymmetrisch zum Federelement (5; 6) angeordnet ist.

7. Mikromechanische Spiegeleinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (2) unterhalb des Spiegelements (7) eine Ausnehmung (26) aufweist, deren Grundfläche größer als die des Spiegelements (7) ist und deren Tiefe entsprechend des gewünschten maximalen Verschwenkungswinkels gewählt ist.

8. Mikromechanische Spiegeleinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Spiegelement (7) zwei im wesentlichen rechteckförmig ausgebildete Spiegelflächen umfaßt, die spiegelsymmetrisch zu der Längsachse (27) des Federelements (5, 6) an diesem angebracht sind.

9. Mikromechanische Spiegeleinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Federelement (5, 6) und/oder das Spiegelement (7) aus Silizium bestehen.

10. Mikromechanische Spiegeleinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Elektroden zur Detektion des Verschwenkungswinkels des Spiegelements (7) vorgesehen sind.

11. Mikromechanische Spiegeleinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die beiden Gegenelektroden (16 bis 19) eines Aktorelements (8, 9) gegenphasig oder gleichphasig angesteuert sind.

12. Mikromechanische Spiegeleinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Spiegelement (7) unterschiedliche Oberflächen (28) zur farbselektiven Reflexion eines Lichtstrahls aufweist.

13. Verfahren zur Herstellung einer mikromechanischen Spiegeleinrichtung (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit den Schritten:

- Erzeugen von porösem Silizium in einem Substrat (2) unterhalb eines Bereichs, der in der Spiegeleinrichtung (1) unterhalb der beweglichen Teile, nämlich Spiegelement (7), Federelement (5, 6) und Aktorelement (8, 9), liegt,
- Aufbringen der Kontaktierungselektroden (3, 4) auf das Substrat (2),
- Aufwachsen einer epitaktischen Siliziumschicht auf den porösen Bereich,
- selektives Entfernen des porösen Siliziums zur Herstellung der beweglichen Teile.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

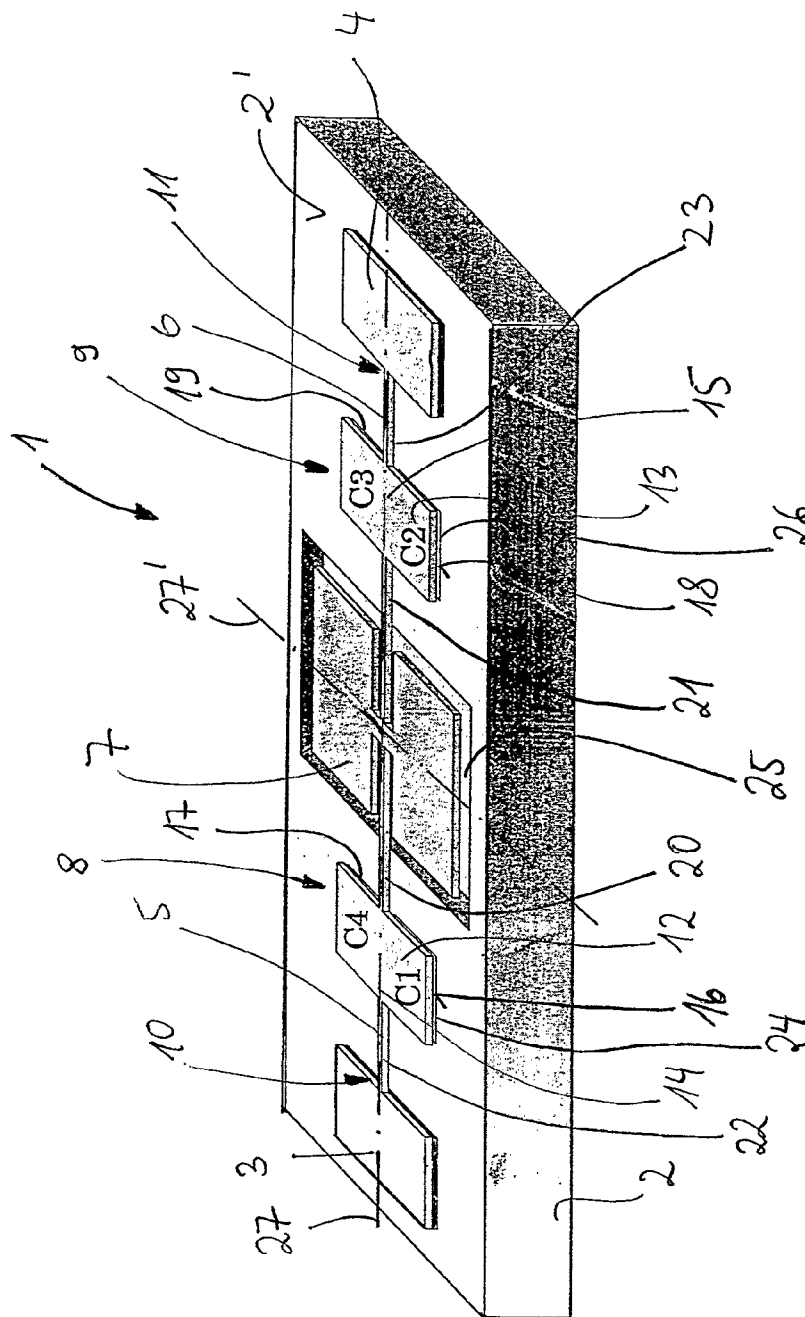


Fig. 1

